



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108153327 A

(43)申请公布日 2018.06.12

(21)申请号 201711284516.3

(22)申请日 2017.12.07

(71)申请人 浙江大学

地址 310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

(72)发明人 许超 叶鸿凯 朱疆成

(74)专利代理机构 杭州求是专利事务有限公司 33200

代理人 邱启旺

(51)Int.Cl.

G05D 1/10(2006.01)

G05D 13/62(2006.01)

G05D 25/02(2006.01)

权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种四旋翼飞行器室外编队灯光表演系统及控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种四旋翼飞行器室外编队灯光表演系统及控制方法,包括飞行器硬件搭建以及控制测试,上位机编写以及设计通讯链路,主要用途是进行编队飞行灯光表演。由于在室外环境下飞行器位置测量的不精确,本发明针对飞行表演提出了消除位置误差影响的实际应用措施,以及表演队形变换时互相避让生成轨迹的方法。

1. 一种四旋翼飞行器室外编队灯光表演系统,其特征在於:包括一上位机和n架的四旋翼飞行器,以m架四旋翼飞行器为一组,  $6 \leq m \leq 8, m \leq n$ , 则有  $\lceil n/m \rceil$  组;上位机上连接有  $\lceil n/m \rceil$  个协调器,四旋翼飞行器上具有飞行控制器、GPS定位模块、LED可控灯模块和Xbee无线通信模块,所述GPS定位模块、所述LED可控灯模块和所述Xbee无线通信模块均与所述飞行控制器相连,每组中的每架四旋翼飞行器上的所述Xbee无线通信模块均与一个协调器进行无线通讯。

2. 根据权利要求1所述的一种四旋翼飞行器室外编队灯光表演系统的控制方法,其特征在於:该方法包括如下步骤:

步骤(1):测量计算编队最小间距,以防止飞行过程中四旋翼飞行器之间碰撞;

步骤(2):所有四旋翼飞行器通电进行初始化,利用每架四旋翼飞行器的初始位置进行坐标系转换,减小GPS测量误差对编队飞行位置控制精度的影响;

步骤(3):上位机规划飞行编队轨迹。

步骤(4):上位机发送控制指令给每架四旋翼飞行器,包括速度控制指令、位置控制指令、灯光控制指令等,进行编队表演。

3. 根据权利要求2所述的一种四旋翼飞行器室外编队灯光表演系统的控制方法,其特征在於:所述步骤(1)具体如下:

步骤(1.1):令  $\lambda_{\min}$  表示互相不碰撞的最小间距,将  $\lambda_{\min}$  视为三部分之和:

$$\lambda_{\min} = \lambda_m + \lambda_d + \epsilon \quad (1)$$

其中  $\lambda_m$  为四旋翼飞行器悬停时测量误差的最大值,  $\lambda_d$  为动态飞行时轨迹跟踪的误差最大值,  $\epsilon$  为所使用四旋翼飞行器安装螺旋桨后的轴距;

步骤(1.2):将一架四旋翼飞行器悬停在某一位置,记录其在GPS坐标系下北方向和东方向位置随时间变化,测量得包含此轨迹的最小圆的半径即为  $\lambda_m$ ;

步骤(1.3):分别给予北东地三轴的阶跃响应,期望值与实际值的最大误差,也即最大超调量,就是  $\lambda_d$ 。

4. 根据权利要求2所述的一种四旋翼飞行器室外编队灯光表演系统的控制方法,其特征在於:所述步骤(2)具体如下:

步骤(2.1):当四旋翼飞行器通电时,计算所有四旋翼飞行器初始位置的位置中心,作为所选择的参考系的原点,记作  $\vec{c}$ ,  $\vec{c}$  此时应是与经纬度相关的数值,  $\vec{c} \in \mathbb{R}^3$ , 以北东地方向为正方向;

步骤(2.2):记t时刻第i架四旋翼飞行器在此参考系中的位置为  $\vec{p}_i(t)$ , 在测得的GPS参考系中的位置为  $\vec{g}_i(t)$ , 则有如下关系:

$$\forall i \in \gamma, \vec{p}_i(t) = \vec{g}_i(t) - \vec{c} \quad (2)$$

其中  $\gamma = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ , n为四旋翼飞行器的数量。

5. 根据权利要求2所述的一种四旋翼飞行器室外编队灯光表演系统的控制方法,其特征在於:所述步骤(3)具体如下:

步骤(3.1):上位机计算出下一个编队队形中各个四旋翼无人机在所使用的局部坐标系下所处的位置,记作  $\vec{d}_i(t)$ ,  $i = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ ;

步骤(3.2): 匹配 $\overline{d}_i(t)$ 与每架四旋翼飞行器当前位置 $\overline{p}_i(t)$ , 使得匹配好的每对 $\overline{d}_i(t)$ 与 $\overline{p}_i(t)$ 之间的欧式距离之和最小, 以配对的 $\overline{d}_i(t)$ 和 $\overline{p}_i(t)$ 为端点连线, 计算每条直线之间的距离, 最小值记为 $D_{\min}$ ;

步骤(3.3): 比较 $\lambda_{\min}$ 和 $D_{\min}$ , 若 $\lambda_{\min}$ 小于 $D_{\min}$ , 则执行步骤(4); 若 $\lambda_{\min}$ 大于 $D_{\min}$ , 则执行步骤(3.2)。

6. 根据权利要求2所述的一种四旋翼飞行器室外编队灯光表演系统的控制方法, 其特征在于: 所述步骤(4)具体如下:

步骤(4.1): 对 $n$ 个四旋翼飞行器进行编号, 编号从1到 $n$ ;

步骤(4.2): 为减小协调器的通信压力, 上位机发送控制指令采用轮询方式, 组间采用时分复用通信, 每组内四旋翼飞行器之间采用时分复用的通信方法。

## 一种四旋翼飞行器室外编队灯光表演系统及控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及飞行器集群与编队领域,尤其涉及一种四旋翼飞行器灯光表演编队系统及控制方法。

### 背景技术

[0002] 四旋翼飞行器的编队集群系统具有许多单个机器人系统所不具备的优势,如冗余性和系统固有的并行处理结构,可以依靠对目标的集体认知从而变得更加可靠。

[0003] 随着消费者市场上出现了越来越多的以小型多旋翼飞行器为主要结构的消费级无人机,四旋翼飞行器的用途也从工业应用方面大大转向了个人娱乐方面,它们被大量用于航拍、自拍和影视拍摄,或者是辅助一些文化艺术表演。一架带有自动导航功能的微型飞行器能够自动跟随运动中的人们并录像记录下他们的运动情况。当影视拍摄要求去到一些人所不能触及的地方进行探索时,一架携带有拍摄设备的飞行器则能够方便地去到这些地方,很好地解决这个问题。除了使用单个四旋翼飞行器,飞行器的编队集群在艺术表演方面也有广阔的应用前景,比如通过使飞行器的运动和音乐节奏同步来实现飞行舞蹈表演,其编队表演的视觉效果非常壮观。若应用四旋翼飞行器编队进行多架无人机进行表演,在无人机编队飞行表演领域将有更广阔的应用。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于针对现有四旋翼飞行器编队表演应用不够广泛,提出一种四旋翼飞行器灯光表演编队系统及控制方法。该系统可扩展性较高,可实现对各飞行单元的位置及速度进行控制,进一步对飞行系统整体的飞行表演轨迹进行控制,还可以控制四旋翼飞行器上的灯光亮度及颜色,进行编队灯光表演,空中灯光秀。另外,针对Xbee通信模块通信能力有限的问题,本发明提出一种缓解通信压力的方法;针对GPS定位精度不高的问题,本发明还提出一种减小位置误差的轨迹生成方法。

[0005] 为了实现以上目的,本发明所采用的技术方案如下:一种四旋翼飞行器室外编队灯光表演系统,包括一上位机和 $n$ 架的四旋翼飞行器,以 $m$ 架四旋翼飞行器为一组, $6 \leq m \leq 8$ ,  $m \leq n$ ,则有 $\lceil n/m \rceil$ 组;上位机上连接有 $\lceil n/m \rceil$ 个协调器,四旋翼飞行器上具有飞行控制器、GPS定位模块、LED可控灯模块和Xbee无线通信模块,所述GPS定位模块、所述LED可控灯模块和所述Xbee无线通信模块均与所述飞行控制器相连,每组中的每架四旋翼飞行器上的所述Xbee无线通信模块均与一个协调器进行无线通讯。

[0006] 进一步的,该方法包括如下步骤:

[0007] 步骤(1):测量计算编队最小间距,以防止飞行过程中四旋翼飞行器之间碰撞;

[0008] 步骤(2):所有四旋翼飞行器通电进行初始化,利用每架四旋翼飞行器的初始位置进行坐标系转换,减小GPS测量误差对编队飞行位置控制精度的影响;

[0009] 步骤(3):上位机规划飞行编队轨迹;

[0010] 步骤(4):上位机发送控制指令给每架四旋翼飞行器,包括速度控制指令、位置控

制指令、灯光控制指令等,进行编队表演。

[0011] 进一步的,所述步骤(1)具体如下:

[0012] 步骤(1.1):令 $\lambda_{\min}$ 表示互相不碰撞的最小间距,将 $\lambda_{\min}$ 视为三部分之和:

$$[0013] \quad \lambda_{\min} = \lambda_m + \lambda_d + \varepsilon \quad (1)$$

[0014] 其中 $\lambda_m$ 为四旋翼飞行器悬停时测量误差的最大值, $\lambda_d$ 为动态飞行时轨迹跟踪的误差最大值, $\varepsilon$ 为所使用四旋翼飞行器安装螺旋桨后的轴距;

[0015] 步骤(1.2):将一架四旋翼飞行器悬停在某一位置,记录其在GPS坐标系下北方向和东方向位置随时间变化,测量得包含此轨迹的最小圆的半径即为 $\lambda_m$ ;

[0016] 步骤(1.3):分别给予北东地三轴的阶跃响应,期望值与实际值的最大误差,也即最大超调量,就是 $\lambda_d$ 。

[0017] 进一步的,所述步骤(2)具体如下:

[0018] 步骤(2.1):当四旋翼飞行器通电时,计算所有四旋翼飞行器初始位置的位置中心,作为所选择的参考系的原点,记作 $\vec{c}$ , $\vec{c}$ 此时应是与经纬度相关的数值, $\vec{c} \in \mathbb{R}^3$ ,以北东地方向为正方向;

[0019] 步骤(2.2):记t时刻第i架四旋翼飞行器在此参考系中的位置为 $\vec{p}_i(t)$ ,在测得的GPS参考系中的位置为 $\vec{g}_i(t)$ ,则有如下关系:

$$[0020] \quad \forall i \in \gamma, \vec{p}_i(t) = \vec{g}_i(t) - \vec{c} \quad (2)$$

[0021] 其中 $\gamma = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ ,n为四旋翼飞行器的数量。

[0022] 进一步的,所述步骤(3)具体如下:

[0023] 步骤(3.1):上位机计算出下一个编队队形中各个四旋翼无人机在所使用的局部坐标系下所处的位置,记作 $\vec{d}_i(t)$ , $i = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ ;

[0024] 步骤(3.2):匹配 $\vec{d}_i(t)$ 与每架四旋翼飞行器当前位置 $\vec{p}_i(t)$ ,使得匹配好的每对 $\vec{d}_i(t)$ 与 $\vec{p}_i(t)$ 之间的欧式距离之和最小,以配对的 $\vec{d}_i(t)$ 和 $\vec{p}_i(t)$ 为端点连线,计算每条直线之间的距离,最小值记为 $D_{\min}$ ;

[0025] 步骤(3.3):比较 $\lambda_{\min}$ 和 $D_{\min}$ ,若 $\lambda_{\min}$ 小于 $D_{\min}$ ,则执行步骤(4);若 $\lambda_{\min}$ 大于 $D_{\min}$ ,则执行步骤(3.2)。

[0026] 进一步的,所述步骤(4)具体如下:

[0027] 步骤(4.1):对n个四旋翼飞行器进行编号,编号从1到n;

[0028] 步骤(4.2):为减小协调器的通信压力,上位机发送控制指令采用轮询方式,组间采用时分复用通信,每组内四旋翼飞行器之间采用时分复用的通信方法。

[0029] 本发明的有益效果如下:本发明基于可控LED灯光、GPS模块和XBee通信模块,实现四旋翼飞行器室外编队灯光表演。地面站管理系统与每架四旋翼飞行器之间通过Xbee无线通信模块实现数据传递。四旋翼飞行器将自身所在GPS坐标系下的位置发送给地面站管理系统,地面站管理系统将位置坐标转换到局部坐标系中,减少GPS测量误差的影响,并且在地面站中设计好飞行轨迹后将速度指令和位置指令发送给四旋翼无人机。在控制飞行的同时地面站还可随时控制四旋翼飞行器上的灯光,进行编队飞行灯光表演。搭建了可扩展性高的四旋翼飞行器编队表演系统,降低了通信延迟的影响,减小了GPS定位精度不高的影

响,利用地面站管理系统可以方便控制编队飞行的队形和灯光表演状态。

### 附图说明

- [0030] 图1为单架四旋翼飞行器结构框图;
- [0031] 图2为本发明提出的整体控制流程图;
- [0032] 图3为本发明提出上位机与四旋翼飞行器之间的通信拓扑结构框图;
- [0033] 图4为本发明提出GPS坐标系转换为局部参考系示意图;
- [0034] 图5为本发明提出队形变换算法流程图;
- [0035] 图中:1-Xbee通信模块,2-LED可控灯模块,3-飞行控制单元,4-四旋翼飞行器机架。

### 具体实施方式

- [0036] 下面根据附图详细说明本发明。
- [0037] 编队灯光表演系统主要由执行编队飞行任务的四旋翼飞行器单元、用于数据监测及指令发送的上位机以及连接飞行器与上位机的通信系统三大部分组成。
- [0038] 如图1所示,四旋翼飞行器单元由机械框架、动力结构以及控制系统三大部分组成。
- [0039] 机械框架的主体是机架,作为搭载动力结构装置和控制装置的机械硬件。
- [0040] 动力结构包括电子调速器、电机、电池及螺旋桨等,电子调速器从飞行控制器接收PWM波,解算出电机的转速,给电机供给以相应的电压,使得电机转动,带动电机上的螺旋桨转动,产生升力。
- [0041] 控制系统的主体是飞行控制器,核心是计算芯片,再搭载各种模块化的传感器如气压计,陀螺仪、加速度传感器、磁力计、GPS、超声传感器、摄像头、激光雷达等等。要维持四旋翼飞行器飞行姿态的稳定,则必须在计算芯片作为控制核心的基础上搭载姿态传感器,如IMU(惯性测量单元),其中包括陀螺仪、加速度传感器以及磁力计等,从而实现姿态控制,保证飞行的稳定。若要控制四旋翼的速度和位置,则必须要有测量定位的传感器,如摄像头和GPS模块,配合气压计和超声传感器或激光雷达,则可以很好的实现高度控制,结合这些传感器能够实现三维空间中的定位,本发明所使用的GPS模块为Ublox NEO-M8N,水平误差3m左右高度误差1m左右,与气压计融合定高。
- [0042] 除了这三大部分之外,还需要通讯设备用于空中飞行器和地面上位机之间的无线数据通信,本发明使用的型号是Digi XBee-PRO 900HP,该模块工作在900MHz的带宽下,支持高达230400bps的波特率下传输标准异步串行数据流。要使得电脑端的上位机与编队的多架四旋翼飞行器进行通信,则需要将一个协调器通过USB转串口连接线连接到上位机上,将上位机端的数据通过串口收发后再无线传输。同时,每架四旋翼飞行器的串行接口上需要连接一块XBee模块,在飞行控制单元内部写好下位机接收与发送数据的串口收发程序,将要发送的上位机的数据包和从上位机接收到的数据包放在串口数据缓冲区,再通过协调器进行无线发送。如图3所示,通信网络采用了一对多的集中式通信拓扑结构,上位机作为通信网络中心节点,各个飞行编队单元作为网络终端节点。
- [0043] 另外,本发明使用一个LED可控灯模块,上位机可通过上述无线通信方式控制LED

可控灯模块的亮度和颜色和闪烁频率。

[0044] 如图2所示,一种四旋翼飞行器室外编队灯光表演系统的控制方法,该方法包括如下步骤:

[0045] 步骤(1):测量计算编队最小间距,以防止飞行过程中四旋翼飞行器之间碰撞;

[0046] 步骤(2):所有四旋翼飞行器通电进行初始化,利用每架四旋翼飞行器的初始位置进行坐标系转换,减小GPS测量误差对编队飞行位置控制精度的影响;

[0047] 步骤(3):上位机规划飞行编队轨迹;

[0048] 步骤(4):上位机发送控制指令给每架四旋翼飞行器,包括速度控制指令、位置控制指令、灯光控制指令等,进行编队表演。

[0049] 所述步骤(1)具体如下:

[0050] 步骤(1.1):令 $\lambda_{\min}$ 表示互相不碰撞的最小间距,将 $\lambda_{\min}$ 视为三部分之和:

$$[0051] \quad \lambda_{\min} = \lambda_m + \lambda_d + \varepsilon \quad (1)$$

[0052] 其中 $\lambda_m$ 为四旋翼飞行器悬停时测量误差的最大值, $\lambda_d$ 为动态飞行时轨迹跟踪的误差最大值, $\varepsilon$ 为所使用四旋翼飞行器安装螺旋桨后的轴距;

[0053] 步骤(1.2):将一架四旋翼飞行器悬停在某一位置,记录其在GPS坐标系下北方向和东方向位置随时间变化,测量得包含此轨迹的最小圆的半径即为 $\lambda_m$ ;

[0054] 步骤(1.3):分别给予北东地三轴的阶跃响应,期望值与实际值的最大误差,也即最大超调量,就是 $\lambda_d$ 。

[0055] 如图3所示,将GPS坐标系转换为局部坐标系,减少GPS测量误差对位置控制精度的影响,所述步骤(2)具体如下:

[0056] 步骤(2.1):当四旋翼飞行器通电时,计算所有四旋翼飞行器初始位置的位置中心,作为所选择的参考系的原点,记作 $\vec{c}$ , $\vec{c}$ 此时应是与经纬度相关的数值, $\vec{c} \in \mathbb{R}^3$ ,以北东地方向为正方向;

[0057] 步骤(2.2):记t时刻第i架四旋翼飞行器在此参考系中的位置为 $\vec{p}_i(t)$ ,在测得的GPS参考系中的位置为 $\vec{g}_i(t)$ ,则有如下关系:

$$[0058] \quad \forall i \in \gamma, \vec{p}_i(t) = \vec{g}_i(t) - \vec{c} \quad (2)$$

[0059] 其中 $\gamma = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ ,n为四旋翼飞行器的数量,本例取 $n=23$ ,取 $m=8$ ,则有 $\lceil n/m \rceil = 3$ 组,第一组的协调器为C1,四旋翼飞行器R1-R8均与C1通讯;第二组的协调器为C2,四旋翼飞行器R9-R15均与C2通讯;第三组的协调器为C3,四旋翼飞行器R16-R23均与C3通讯;。

[0060] 如图4所示,上位机轨迹规划算法流程如步骤(3),所述步骤(3)具体如下:

[0061] 步骤(3.1):上位机计算出下一个编队队形中各个四旋翼无人机在所使用的局部坐标系下所处的位置,记作 $\vec{d}_i(t)$ , $i = \{1, 2, 3, \dots, 23\}$ ;

[0062] 步骤(3.2):匹配 $\vec{d}_i(t)$ 与每架四旋翼飞行器当前位置 $\vec{p}_i(t)$ ,使得匹配好的每对 $\vec{d}_i(t)$ 与 $\vec{p}_i(t)$ 之间的欧式距离之和最小,以配对的 $\vec{d}_i(t)$ 和 $\vec{p}_i(t)$ 为端点连线,计算每条直线之间的距离,最小值记为 $D_{\min}$ ;

[0063] 步骤(3.3):比较 $\lambda_{\min}$ 和 $D_{\min}$ ,若 $\lambda_{\min}$ 小于 $D_{\min}$ ,则执行步骤(4);若 $\lambda_{\min}$ 大于 $D_{\min}$ ,则执行

步骤(3.2)。

[0064] 如图5所示,将23架四旋翼飞行器分组,建立通信拓扑结构,所述步骤(4)具体如下:

[0065] 步骤(4.1):对23个四旋翼飞行器进行编号,编号从1到23;

[0066] 步骤(4.2):将23架四旋翼飞行器进行分组,8架四旋翼飞行器为一组,则有3组,每组的四旋翼飞行器数量分别为8、8、7,每组有自己的协调器;

[0067] 步骤(4.3):上位机发送控制指令采用轮询方式,组间采用时分复用通信,每组内四旋翼飞行器之间采用时分复用的通信方法。在一个控制周期 $\Delta T$ 内,每个协调器需要发送 $m$ 个控制指令包,在 $t$ 时刻,发送了第1个数据包,数据包内包含了速度控制指令、位置控制指令和灯光控制指令等,那么发送第2个数据包的时刻就是 $t + \Delta T/m$ ,发送第3个数据包的时刻就是 $t + 2 \cdot \Delta T/m$ ,依次类推,发送第 $n$ 个数据包的时刻就是 $t + (n-1) \cdot \Delta T/m$ 。



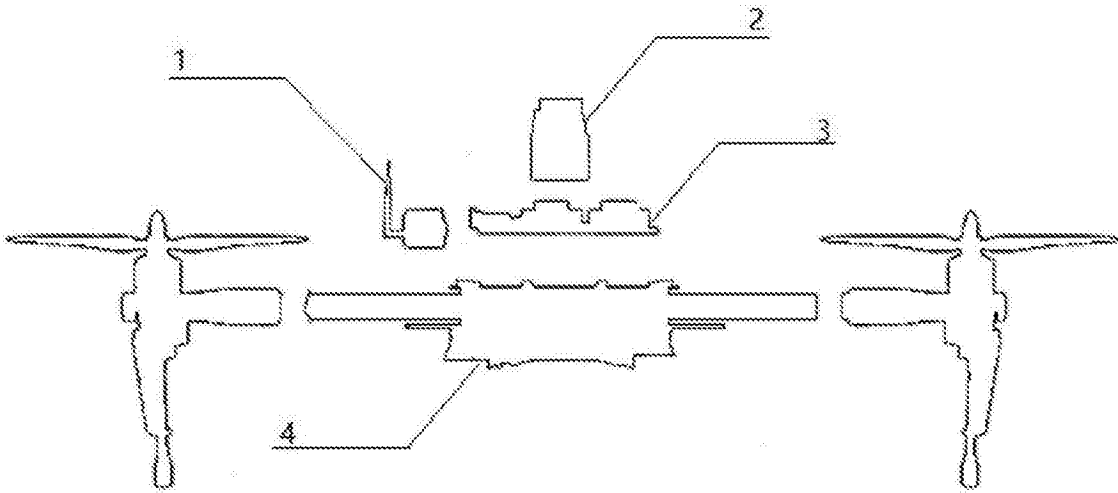


图1

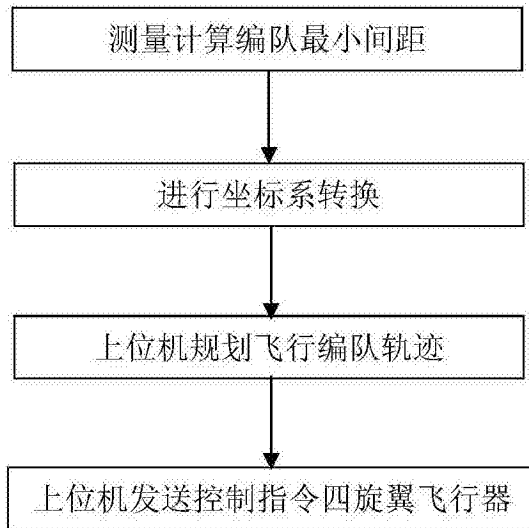


图2

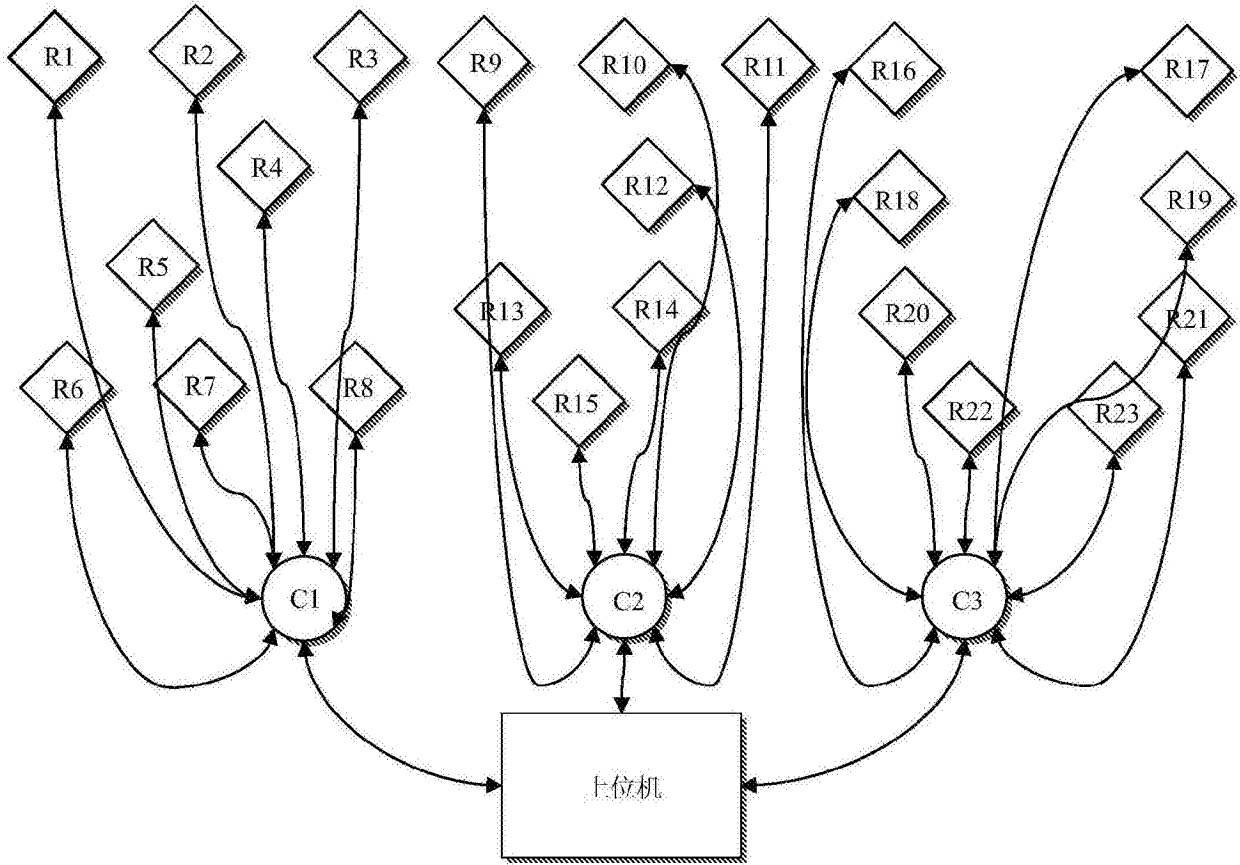


图3

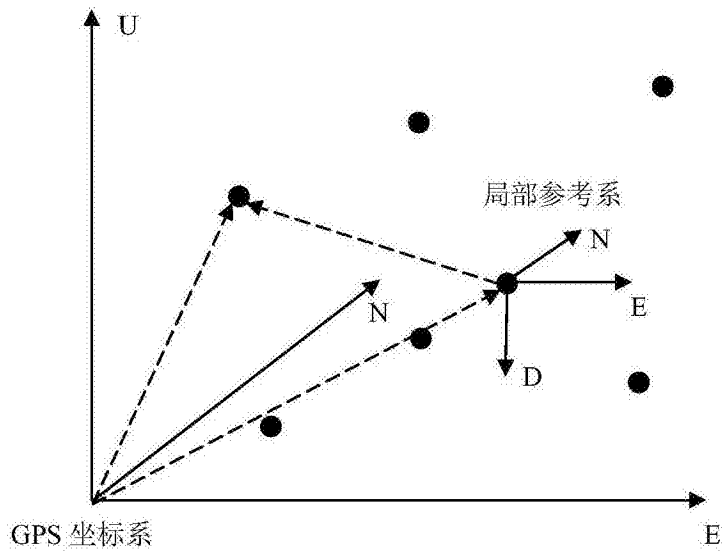


图4

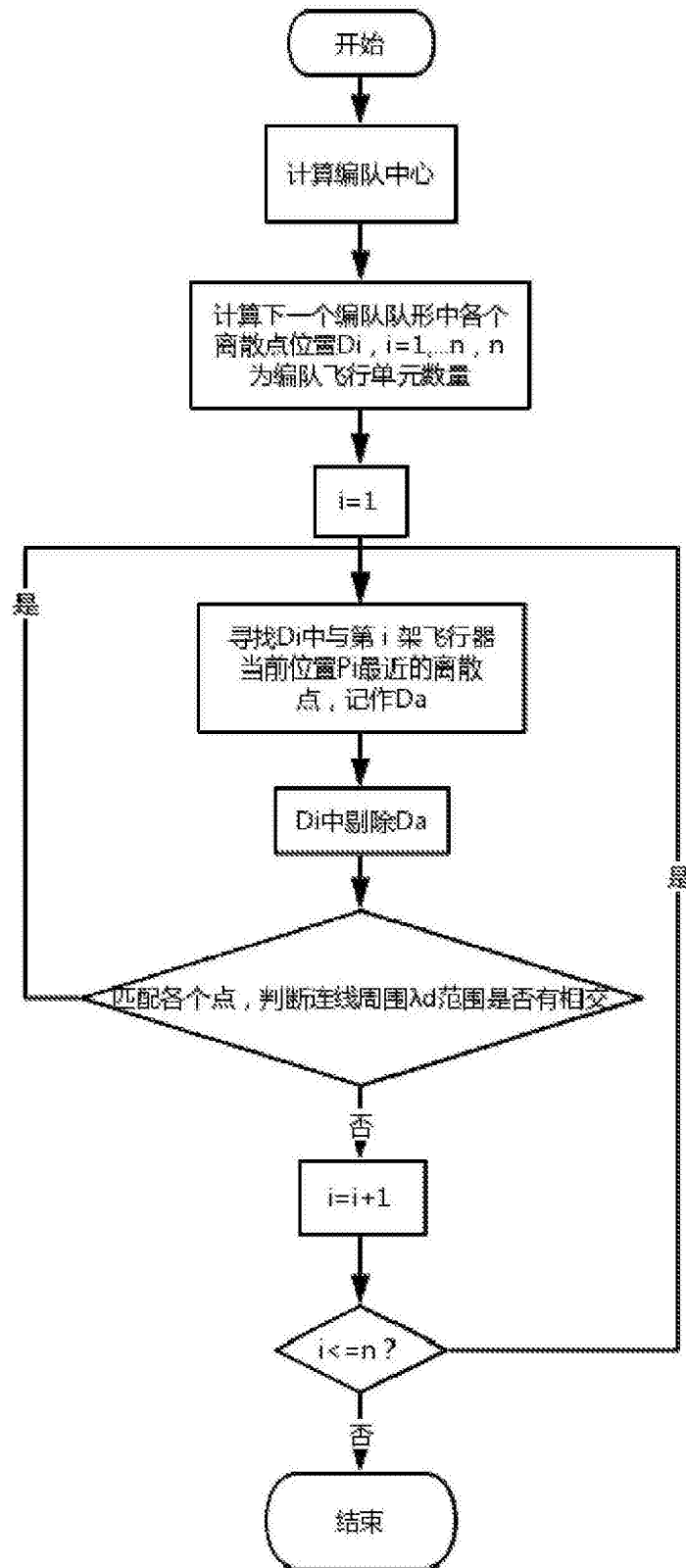


图5